

## 원자력기술개발동향과 국제경쟁력

林 承 喆 \*

### I. 머리말

원자력기술은 원자핵이 분열하거나 융합할 때 발생하는 에너지를 이용하는 기술로, 원자력 발전은 현재까지 유일하게 상용화 된 대체에너지원으로서 소량의 연료로 막대한 에너지를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 석유나 석탄같은 화석 연료와는 달리 이산화탄소를 배출하지 않아 지구온난화와 산성비 같은 환경문제를 일으키지 않는 청정에너지이다.

에너지 자원이 부족한 우리나라는 1978년 고리 1호기의 상업운전을 시작한 이래 현재 10기의 원전을 가동 중에 있고 8기의 원전을 건설 중에 있어, 에너지의 해외 의존도가 날로 심화되고 있는 우리의 현실을 고려한다면 앞으로 준 국산에너지로서의 원자력의 역할은 더욱 증대될 것으로 전망되고 있다. 또한 원자력산업은 고도의 기술집약적 특성으로 인하여 전기·기계·화학·금속 등 관련 산업의 발전에 큰 파급효과를 미쳐 왔으며, 국산화 추진과정에서 기술인력의 확보와 양성에도 크게 이바지하여 그동안 쌓아온 기술경험과 노하우를 활용한다면 후발 개발도상국에 원자력발전기술의 수출이 기

대되는 분야이기도 하다.

원자력 기술의 제반 단위기술들을 계층 구조적으로 분류하면 <표 1> 과 같은 기술계통도 도출이 가능하며, 계통도 상에서 하부 단위기술은 상부기술의 기반기술로서의 역할을 수행하고 있음을 알 수 있다. 본문에서는 원자로 개량과 신형원자로 개발을 중심으로 한 원자로 기술, 핵연료 주기기술 및 방사선 및 동위원소 이용기술 등 3개 분야에 대한 국내외 기술동향과 기술수준 및 전망에 대해 살펴보고자 한다.

### II. 국내의 기술동향

#### 1. 원자로 기술

현재 전세계의 원자로는 경수로와 중수로가 대부분을 차지하고 있으며(두 유형 중에서는 가압경수로가 3분의 2 이상을 점유하여 경수로가 주종을 이루고 있음), 선진국에서는 국제 공동연구 또는 자체연구를 통해 원전의 표준화와 기술적 개선을 시도하고 있다. 이와 아울러 피동형 안전계통을 도입한 신형원자로 개발, 우리농 자원 이용효율의 극대화를 위한 액체금속로 개

\* 방사선폐기물 관리사업기획단 사무관, 공학박사

발, 차세대 에너지원으로서의 핵융합로 연구등도 활발하게 진행되고 있는 상황이다.

### 1) 미국

경수로 개발에 있어서는 우선 현재 운전 중인 발전소를 바탕으로 설계를 개선하여 1000 MWe급 이상의 대용량 개량형 경수로 개발을 추진 중에 있다.

Westinghouse사에는 일본 미쯔비사와 공동으로 1350MWe의 APWR을 개발 중에 있으며 ABB-CE사도 1200MWe의 System 80+를 일본과 공동으로 개발하고 있다.

피동형 경수로는 기존 원자로 계통의 안전성이 인위적, 능동적이었음에 반해, 안전계통에 피동적 개념을 도입하여 중력, 자연순환과 자체의 에너지 등을 활용하므로써 설계를 간소화하는 장점을 가진 노형으로, 현재 에너지부(DOE)의 지원하에 Westinghouse사의 AP-600과 GE사의 SBWR이 개발 중에 있다.

### 2) 일본

일본은 1975년에 핵에너지 발전설비 개량표준위원회를 발족하고 세차레에 걸쳐 경수로 개량 및 표준화 계획을 수행하여, 신뢰도 및 가동율 향상과 정기보수기간의 단축, 피폭량 감소를 이룩하고 있다. 향후 경수로 개량과 표준화는 일간 부허중 운전능력개발, 장주기 핵연료주기 선택, 건설공기의 단축, 폐기물 처리방법의 표준화등을 추진하고 있으며, 이와 아울러 고연소도 핵연료 개발을 적극 추진하여 핵연료 주기

비를 줄이고, 건설비의 절감 및 운전 보수기간의 단축과 가동율의 향상을 통해 경제성을 향상시키고자 노력 중이다.

일본은 표준화에서 얻은 경험을 토대로 개량형 경수로 개발과 차세대 신형안전로 개발을 추진 중에 있는데 미쯔비사는 Westinghouse의 AP-600 개념과 유사한 단순형 피동경수로 MS300/600을 개발 중에 있으며, 히다치는 경제성 향상에 역점을 둔 HSBWR을 개발하고 있다.

### 3) 프랑스

프랑스는 원전의 표준화와 개량을 1970년대 말부터 추진하여, 1980년대에는 CP1(1980~1982), CP2(1982~1987) 계획을 추진하여 900MWe급 발전소를 표준화한 바 있으며, 1984년부터는 P4 계열 표준화를 실시하여 1300MWe급에 격납기와 터빈계통의 개선을 통한 위험도 감소와 구조물의 최적화, 그리고 가동율의 향상을 이룩하였다. 프랑스가 독자적으로 수행하고 있는 1450MWe급 원전에 대한 N4 표준화 계획은 증기발생기, 원자로용기 및 1차계통 펌프 등에 주안점을 두고 있다.

프랑스 표준화의 특징은 설계 표준화를 통하여 여러 기의 원전을 건설하고, 이를 통해 경험 축적과 비용절감을 달성하는 것이다.

최근에는 세계의 추세에 맞추어 독일과 공동으로 NPI (Nuclear Power International)를 설립하여 경수로의 개선에 노력하고 있으며, EPR (European Pressurized Water Reactor)의 상세설계를 1998년 초까지 완료하고 이후 건설에 착수할 예정으로 있다.

#### 4) 캐나다

가압중수로(PHWR)를 채택하고 있는 캐나다에서는 지금까지의 전력생산에서 보여준 신뢰성, 경제성 및 안전성을 토대로 개량을 통한 경제성 향상을 추진 중에 있으며, 한편 송전시설의 효율적 이용을 고려하여 용량이 작은 450MWe급의 CANDU 3을 개발하여 건설 가능성을 모색 중이다. CANDU 3에서는 설계를 표준화하여 자본비를 줄이고, 모듈화 및 360도 접근성을 통하여 건설공기를 단축함으로써 경제성 향상을 추진 중이다. 개량형 중수로는 700~1000 MWe급으로 경제적으로는 유연탄 발전소에 대응할 수 있도록 개선에 노력을 기울이고 있으며, 설계수명은 '60년으로 핵연료 channel 및 증기발생기의 최소 수명은 30년, 부하율은 90%를 목표로 하고 있다.

#### 5) 기타

영국은 미국과 공동으로 피동일체형 원자로인 SIR(Safe Integral Reactor)를 개발하다가 현재는 중지된 상태이며, 러시아도 기존 원전을 대체할 피동형 원자로로서 VVER600 개발에 착수하여 개념설계를 수행 중이나 어려운 경제 사정으로 인해 그 진도가 미미한 실정이다.

중국은 피동형 원자로를 개발하는 세계적 추세에 맞추어 1986년부터 Westinghouse의 AP-600과 유사한 AC-600을 개발하여 오고 있다. 1988년에 개념설계를 완료한 바 있으며 현재는 독자적인 예비설계를 진행하고 있다.

#### 6) 국내 동향

국내의 경우 원자로 기술개발은 기존 원자로의 개량화, 차세대 경수로와 액체금속원자로 기술개발로 구분하여 추진 중에 있다. 기존경수로의 개량화는 2006년 이전에 준공될 원전은 울진 3, 4호기를 참조발전소(reference plant)로 하여 점진적으로 개량화를 추진하고, 중수로의 개량화는 월성 2, 3, 4호기까지는 기존 월성 1호기를 참조로 하여 신기술 및 설계기준을 반영하여 건설하고, 그 이후의 발전소에 대하여는 개량형 중수로 개발방향을 검토한 후 그 결과에 따라 개량화를 추진할 계획이다. 차세대 경수로의 독자적 개발은 명실상부한 기술자립달성 및 국제경쟁력 확보를 뜻하는 것으로 1994년말까지 해외의 차세대 경수로 기술개발현황 및 특성(안전성, 경제성, 운전성 등)을 평가 분석하여 차세대 경수로의 개발노형을 결정하고 1998년까지는 차세대 경수로에 필요한 핵심 요소기술을 개발하여 차세대 경수로의 개념설계 및 기본설계를 개발한 후, 2001년까지는 표준상세설계(FOAKE) 및 표준안전성분석보고서를 개발할 목표로 연구가 진행 중이다. 액체금속원자로 개발에 있어서는 자체개발과 국제공동연구를 병행하여 추진할 예정으로 1990년대에는 기반기술 및 핵심요소기술을 중점적으로 개발하여 기본설계를 완료하고, 2011년까지는 15만 kWe급 액체금속원자로의 실증로를 건설·운영하며, 2025년 이후 상용화를 목표로 핵연료주기전략과 연계하여 개발연구를 수행 중에 있다.

## 2. 핵연료주기 기술

오랜 연구개발과 실용화를 통해 핵연료주기를 확립한 대부분의 원자력선진국들은 현재 장

주기 핵연료주기 및 고연소도 핵연료 연구를 통한 원전의 경제성 향상에 노력하고 있으며, 사용 후 핵연료 및 고준위폐기물의 영구처분을 위한 연구개발도 활발히 추진 중이다.

### 1) 선진국의 기술동향

미국은 1970년대 중반 포드와 카터 대통령이 의해 사용 후 핵연료의 재처리 금지가 천명된 이후, 사용 후 핵연료를 재사용하지 않고 영구처분하는 방식의 비순환 핵연료주기 정책을 취하고 있다. 이는 재처리가 비경제적이라는 결론을 얻었기 때문인 것으로 알려지고 있으며, 현재 핵연료를 재순환하지 않는 대신 연료의 연소도를 높이고 주기길이를 늘림으로써 원전의 경제성을 향상시키고자 노력하고 있다.

프랑스, 독일, 벨기에, 스위스 등의 유럽 국가들은 사용 후 핵연료를 재처리하여 혼합산화물(MOX: Mixed Oxide)연료의 형태로 기존의 경수로나 앞으로 건설될 고속중식로에 재순환시키는 정책을 취하고 있다. 유럽은 핵연료를 재순환하는 방식이 비순환 방식보다 경제적이라는, 미국과는 정반대의 입장을 취하고 있는 점이 이채롭다.

현재 전세계에서 가장 활발하게 원자력을 추진하고 있는 나라의 하나인 일본에서는 기본적으로 에너지의 자립을 기본 목적으로 하여, 모든 원자력 기술의 국산화라는 목표하에 핵연료주기 정책에서도 사용 후 핵연료의 재순환을 기본정책으로 하고 있다. 이는 사용 후 핵연료의 재처리가 경제적이라는 판단에 기초한 것으로, 뿐만 아니라 농축기술의 자립화도 거의 완성된 단계에 이르고 있다.

일본은 사용 후 핵연료의 재처리에 있어서 재처리는 유한한 우라늄 자원의 보다 효율적인 이용을 가능하게 하고, 또한 재처리를 통하여 영구처리 처분해야 할 폐기물의 양을 현저히 감소시킬 수도 있다는 면을 강조하고 있다.

이러한 핵연료에 대한 연구개발 외에 원자력 발전 선진국에서는 오래 전부터 저준위폐기물 영구처분시설이나 사용 후 핵연료 중간저장시설을 가동하여 안전한 방사성폐기물관리를 실현 중에 있으며, 현재 미국, 일본, 스웨덴 등을 중심으로 사용 후 핵연료 또는 고준위폐기물을 영구처분하기 위한 연구개발도 활발히 진행되고 있다.

### 2) 국내 동향

국내 핵연료주기 기술개발은 해당 원자로 기술개발과 병행하여 추진한다는 개념을 채택하고 있다. 경수로용 개량핵연료는 1996년까지는 개량소결체 개발, 유동혼합장치 개발 등을 포함하여 45,000MWD/MTU정도의 고연소도 핵연료 개발을 추진할 계획이며, 이 결과를 바탕으로 2001년까지 신소재 피복관, 가연성 독물질 함유 소결체, 저누설중성자 반사체 등을 개발하여 핵연료 이용률 및 성능이 향상된 초고연소도 핵연료(55,000MWD/MTU)를 개발할 계획으로 연료주기비용의 절감 및 운전신뢰도 증진으로 원전의 안전성 및 경제성 향상이 기대된다. 경·중수로 연계 핵연료주기 기술개발은 1993년까지 기술적 타당성 검토를 통한 최적 경·중수로용 연계핵연료 제조방안을 선정하고 연구개발방향을 정립하여 한국, 미국, 캐나다 3국간의 국제공동연구를 통해 1997년까지는 기반기

술을 개발할 예정으로 있다. 미래형 핵연료개발은 액체금속원자로의 실증로 건설과 연계하여 추진할 계획으로 1997년까지는 핵연료 데이터베이스 확보, 재료특성연구, 제조공정 관련 기술연구 등의 기초연구를 수행하고, 2002년까지는 설계 및 제조에 대한 기반기술을 개발할 계획이다. 국내의 방사성폐기물관리는 1995년 2월 서해안의 굴업도를 방사성폐기물 관리시설지구로 지정고시하므로써 본격적으로 사업에 착수한 바 있으나, 최근 지질적합성 문제가 제기되어 사업의 정상적인 추진이 불투명한 상태이다.

### 3. 방사선 및 동위원소 이용기술

#### 1) 선진국의 기술동향

1950년대부터 원자력의 평화적 이용과 더불어 급속도로 진전된 RI 생산에 대한 연구에 따라 대량생산체제가 구축되었고 그 이용분야도 의료, 연구, 산업, 농업, 우주개발 등 다방면으로 넓어지고 활성화 되었다. 미국, 캐나다, 영국 등 선진국들은 일반 RI 생산은 물론 대선원 제조기술, 핵분열생성물 분리기술, 특수용 RI 생산기술 등을 개발하여 대량생산품목은 기업이 담당하고 소량의 고부가가치 품목은 연구소 수준에서 생산하고 있다.

현재 대부분의 RI는 연구소에서 조사되어 생산되는데 세계적으로 500여 기의 연구로가 가동되고 있고 이 중 300여기가 RI를 생산하고 있으며, 가속기핵종은 주로 사이클로트론에 의하여 생산되는데 세계적으로 100여 기가 가동 중에 있다. 선진국에서는 핵 관련 재료, 지질시

료, 환경시료, 동·식물시료, 범죄수사시료, 고순도재료 등의 미량성분원소의 중성자방사화 분석 및 응용연구가 활발하게 수행되고 있으며 현재 국제 공동협력체를 통한 공동연구도 추진 중에 있다.

#### 2) 국내 동향

1962년 연구용 원자로를 사용하여 RI 생산을 시작한 이후 TRIGA Mark III가 가동된 1972년부터 본격적인 기술개발이 시작되었고 현재의 관련 시설도 대부분 그때에 마련된 것으로 현재 시설이 노후되고 연구개발인력의 부족으로 RI 생산 및 관련 기술은 1980년대 수준으로 유지되고 있다. 올해 완공된 30MW급 다목적 연구로인 하나로는 RI 부대시설로 4개의 대형 콘크리트 핫셀과 21개의 중형 납셀이 설치되어 있어 앞으로 RI 개발과 생산이 활성화 될 전망이다. 국내의 RI 이용기술은 방사화분석 기술분야에서 각종 시료의 분석기술 개발연구 및 타 방법을 이용한 환경시료의 분석연구가 진행되고 있고, 전선 피복재 가공, 방사선멸균 등 몇 가지 기술이 국내에서 산업화되었으나, 방사선추적자 이용기술은 아직 개발초기단계에 있다. 방사선 가공기술의 산업계 기술수요는 증가일로에 있는 반면 국내의 연구개발투자는 선진국에 비해 미미하여 연구인력, 시설, 기술수준 등이 크게 미흡한 실정이다.

### Ⅲ. 기술수준과 전망

국내의 원자력기술은 핵연료 제조 등 일부 분야에서는 괄목할 만한 성장을 이룩하였으나,

전반적으로는 선진국의 60~70% 수준이라고 볼 수 있다. 이러한 원자력 기술수준을 획기적으로 끌어올리기 위해 현재 우리나라는 정부 및 산업체 주도로 원자력 연구개발 중장기계획을 수립·확정하여 시행 중에 있다. 원자력 연구개발 중장기계획은 분야를 원자로기술, 핵연료주기기술, 방사성폐기물관리분야, 원자력안전, 원전건설기술, 원전운영기술, 방사선 및 방사성 동위원소이용연구, 원자력기반기술 등 8개 분야로 구분하여 각 분야별로 계획을 수립하여 시행 중이며, 정부와 산업체간에 역할을 분담하여 추진함으로써 산업계, 학계, 연구계 등 연구개발 수행기관간의 상호협력과 연계를 강화하고 있다. 우리나라는 이러한 중장기계획을 통해 한정된 재원을 효율적으로 배분하고 실효성 있는 연구개발을 통해 2010년까지는 세계 7대 원자력 개발 이용국에 진입하는 것을 목표로 하고 있다(표 2).

## 1. 원자로 기술

현재 우리나라는 원자력발전소의 설계, 제작, 건설, 운영 등 관련 분야에 원자력 연구기관 및 산업체를 확보하고 있어 향후 원자력기술을 확대 발전시킬 수 있는 기본적인 구조를 갖추고는 있으나, 기술응용력 및 기술용통성이 다소 결여되어 있고 실험설비확보 등이 취약하며 특히 기술적 판단능력의 보완이 필요한 실정이다. <표 3>은 신형원자로 개발을 위한 주요 항목에서 현재 국내·외의 기술적 차이를 보여주고 있다. 이러한 기술적 격차는 차세대 경수로 개발을 통해 그 격차를 해소하고 명실상부한 기술자립을 달성할 것으로 예측되는데, 2010년까지는 원자로 설계, 건설, 운영 등 전분야에서

기술적 선두수준에 도달할 것으로 예상된다.

## 2. 핵연료주기 기술

국내의 핵주기 기술은 핵연료 설계·가공분야에서는 기술자립이 이루어진 상태이나 농축 기술은 전적으로 해외에 의존하고 있으며, 개량형 원전연료 및 미래형 원전연료 개발을 위해 요구되는 재처리기술등은 국제적으로 민감한 기술이어서 원자력 선진국에 비해 극히 낙후되어 있는 실정이다. 국내의 핵연료주기는 우리농자원의 효율적 활용 등 원자력 전반에 대한 경제성 향상을 기하는 방향으로 추진되어야 하겠지만, 한반도 비핵화 선언의 기본정신과 국제 핵비확산 체제의 틀 안에서 핵비확산성 핵연료주기기술을 확립해 나가야 할 것이며, 현 시점에서는 핵연료주기 기술개발을 자유롭게 추진할 수 있는 국내·외적인 여건조성과 관련 기반 기술확보를 우선 추진하여야 할 것이다.

방사성폐기물관리시설 부지로 선정된 굴업도에 대해서는 현재 부지특성조사와 환경영향평가가 수행되고 있다. 중·저준위 방사성폐기물은 영구처분될 계획이며 사용 후 핵연료는 구체적인 후행 핵연료주기 정책이 확정될 때까지 중간저장할 예정이다. 이러한 시설건설 외에도 현재 방사성폐기물의 처리·처분과 관련한 기술개발은 「원자력 연구개발 중장기계획」의 일환으로 착실히 추진되고 있다.

## 3. 방사선 및 동위원소 이용기술

국내의 동위원소 이용분야의 기술수준은 전반적으로 선진국 기술수준의 30~40% 정도로 평가

할 수 있다. 국내기술은 소형원자로를 이용한 RI 생산은 수준급에 도달해 있으나 고급기술에 의한 생산이 아니고 주로 (n,γ), (n,p) 핵반응을 이용하여 생산되는 핵종이 주종을 이루고 있으며, 선진국에서 개발된 핵분열생성물에서의 유용 RI 분리기술이나 Fission-Moly 생산기술은 확보하지 못한 상태이고 여기에 관련된 기초 연구, 장비, 인력, 기술면에서 모두 뒤져있는 상태이다.

<표 4>는 동위원소 생산 및 기술개발분야에서 국내·외 기술수준의 비교를 보여주고 있다. 각 분야에서 기술적인 격차가 상당히 있음을 알 수 있으나 올해 4월 하나가 준공됨으로써 동

위원소 생산분야에 있어서는 괄목할 만한 기술적 진보가 예상되고 있다. 이용분야를 살펴보면 국내의 방사선가공 기반기술은 어느 정도 구축되어 있으나 연구인력, 시설, 기술수준 등이 선진국 수준에는 크게 못 미치고 있다.

방사선에 의한 환경보전기술 또한 선진국에서는 준실용화 단계에 와 있으나 우리나라에서는 이에 대한 연구개발이 전무한 실정이며, 방사선추적자 이용기술은 선진국의 경우 산업적 이용이 활발하나 국내에는 전담인력조차 없는 상황으로 방사선 및 동위원소 이용기술의 확대를 위해서는 연구개발과 인력양성이 시급한 상황이다.

<표 1> 원자력기술 계통도

기술분야	주요 기술	
에너지 생산 및 이용기술	원자로기술	원자로기술 열이용로 추진동력으로 연구용원자로 핵융합로 원전운영
	원자력안전기술	안전성해석 안전규제
	핵연료주기기술	선행핵연료주기 후행핵연료주기 방사성폐기물관리기술
	원자력기반기술	인간공학 레이저 원자력로봇 원자분광 원자력신소재 가속기 침단체측제어 비파괴검사
방사선이용기술	방사선 및 동위원소 이용	방사선 및 동위원소 생산 방사선 및 동위원소 이용
	가속기 및 연구로 이용	가속기 이용 연구로 이용
안전보장기술	원자력통제기술	핵물질 물리적 방호 핵물질 계량관리

〈표 2〉 국내 원자력기술의 국제경쟁력 및 기술수준

기술분야	대상기술	국제 경쟁력	기술수준진망(%)			
			현재	2000	2010	2020
원자로기술	경수로 기술	중	C	B	A	A
	중수로 기술	상	C	C	A	A
	액체금속로 기술	하	D	D	D	C
	핵융합로 기술	하	D	D	D	C
	원전운영기술(보수, 검사기술)	상	C	B	A	A
	원자력안전성 기술	중	B	B	A	A
	원자력안전규제 기술개발	중	C	C	B	B
핵연료주기기술	경수로 개량핵연료 개발	상	B	B	A	A
	중수로 개량핵연료 개발	상	B	A	A	A
	핵연료 제조기술	상	A	A	A	A
	저준위폐기물 영구처분	중	C	B	B	A
	사용 후핵연료 중간저장	중	C	B	A	A
방사선 및 동위원소 이용기술	방사선의학	중	C	B	A	A
	방사선 가공기술	중	C	B	A	A
	유전, 육종 응용기술	중	C	C	A	A
	장수명핵종 소멸처리기술	하	D	D	C	B
	표지화합물 제조기술	상	C	B	A	A

주: 국제경쟁력은 백분율을 기준으로 80이상은 상, 60까지는 중, 이하는 하로 분류  
 기술수준은 백분율을 기준으로 90이상은 A, 75이상은 B, 50이상은 C, 이하는 D로 분류

〈표 3〉 신형원자로 개발을 위한 국내·외 기술수준 비교표

비교 항목	국 외	국 내
피동형 원자로 계통설계경험	피동형 원자로의 계통설계 경험이 풍부함	차세대 원자로기술개발과제를통하여 Westinghouse의 AP600을 대용량으로 용량을 격상하는 업무를 일부 수행하였음. 또한 영광 3·4호기 및 울진 3·4호기 핵중기 공급계통설계를 통하여 설계 경험전문가 다수 확보
혁신개념도입 등 계통설계변경시 설계 능력	새로운 형태의 원자로 개발경험이 풍부하여 설계 사양에 따라 설계변경이 가능함	기존 원전의 계통설계는 독자적으로 수행 가능하지만 설계 변경시 타분야에 미치는 영향분석이나 설계변경을 하는 절차 수립, 변경에 따른 인허가요건 분석 등에서는 경험이 없음. 실제 설계변경설계를 반복하며 시행착오를 거치면 기술습득 가능함
계통 설계 기술의 자료화	체계적으로 자료화 함	경험축적으로 체계적인 자료화 가능. 적절한 보관 및 열람체제유지 가능
계통설계 분석 코드 확보 및 Logic 이해 여부	확보·필요시 설계코드를 개선할 수 있도록 코드내용을 숙지함	대부분의 설계 코드 확보 그러나 코드내용 숙지도가 낮아 단순 이용하는 수준임
혁신개념 도입시 입증실험 능력	충분한 실험시설확보 피동형 원자로의 혁신개념에 대한 실험이 진행중에 있음	확보된 실험시설이 부족. 혁신개념도입시 실험요건도출이나 실험수행능력 배양 필요



〈표 4〉 동위원소 생산 및 기술개발 국내·외 기술수준 비교표

분 야	한 국	외 국	
		신 진 국	기 타
표지화합물 합성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단일클론항체 표지화합물을 제외한 대부분 개발, 국산화</li> <li>• 체내진단용 표지화합물 제조기술은 대부분 확보하고 있으나 체외진단용 방사면역측정(RIA)키트 제조기술은 거의 초보적 단계 (항체 생산기술의 미비)</li> <li>• 표지기술은 확보하고 있으나 품목이 다양하지 못함</li> <li>• 거의 초보적 단계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다양한 Tc-99m 표지화합물 생산</li> <li>• 기타 다양한 체내·외 진단용 표지 화합물 개발, 실용화</li> <li>• 치료용 <math>\beta</math> 선 방출 RI표지화합물의 개발, 실용화 단계</li> <li>• 유전공학연구용 표지화합물실용화</li> </ul>	
RI 생산용 조사장치 및 시설	250kW, 2MW급 소형원자로 및 MC-50 가속기 보유. 2개의 대형 콘크리트 핫셀과 10개의 납셀로 감마선원취급 (원자로 시설) 10개의 납셀(가속기 시설)	대형원자로(30-200MW급)와 발전로를 이용한 RI생산, 다양한 가속기 및 RI생산전용 싸이클로트론 보유. 대규모 핫셀 및 $\gamma$ , $\beta$ , $\alpha$ 선원취급용밀폐핫셀보유.	후진국은 RI생산에 연구로만 이용하며 생산 시설은 외국기술로 건설.
생산 RI 및 기술수준	(n, $\gamma$ )핵반응에 의한 RI생산이 주종. $^{131}\text{I}$ , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 를 비롯한 10여 핵종 일상생산. 관련 기초연구수행미흡. 이 분야의 연구개발 인력이 부족함	무담체나 고비방사능 제품생산. 조우탄원소 제조 및 분리기술확보. 간접핵반응을 이용한 생산. 표준선원 및 고부가가치 가공품 생산. 핵종발생기 개발 및 생산. 국가기관은 연구개발을 담당하고 민간업체가 대량 제조판매. 이용분야가 활발하고 관련 인적자원이 풍부	개도국 및 후진국은(n, $\gamma$ )반응에 의한 핵종 생산, 관련 기초연구는 미흡
기술개발 방향	다목적연구로 완공으로 RI 관련 연구 활성화 예정. 고급 RI개발을 위한 인력양성예정. 방사선작업의 자동화예정. 고부가가치의 RI개발예정	핵연료주기완성 및 방사성폐기물 처리기술과 더불어 복합적으로 RI 기술개발. 특수용도의 RI 개발(타기술로 대체 불가 품목). 대량제조 및 상용화 연구. 제법자동화.	핵연료주기기술은 도입에 민감하여 Fission-Moly 기술을 도입하여 추후계획과 연계시킴.